



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KUPARIKIEKON SORVAUS- JA LUJITUS- LAITTEEN PLC-OHJELMOINTI JA KÄYTTÖ- LIITTYMÄ

Tero Tuomisoja

Opinnäytetyö  
Syyskuu 2017  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Älykkäät koneet

TUOMISOJA, TERO:

Kuparikiekon sorvaus- ja lujituslaitteen PLC-ohjelmointi ja käyttöliittymä

Opinnäytetyö 19 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Syyskuu 2017

---

Tässä opinnäytetyössä tehtiin PLC-ohjelma ja käyttöliittymä kuparisen hitsauskiekon sorvaus- ja lujituslaitteeseen. Kyseessä on Metecno Oy:n suunnittelema ja valmistama erikoiskone, joka on räätälöity asiakkaan tarpeiden mukaan. Koneen tarkoituksena on sorvata ja lujittaa hitsauskäytössä olleiden kuparisten kiekkojen pinta uudelleenkäyttöä varten. Keskeisimpänä tavoitteena oli tehdä laitteesta helppokäyttöinen.

Lopputuloksena saatiin tehtyä laite, jonka toimintaan perehdyttäminen on nopeaa ja helppoa. Laitteen käytöstä tehtiin mahdollisimman suoraviivaista ja laitteen käyttöohjeet ovat suoraan käyttöliittymässä. Luottamuksellisista syistä Metecnon asiakasyritys sekä PLC-ohjelman yksityiskohdat ovat jätetty esittämättä julkisessa raportissa.

---

Asiasanat: sorvaus, lujittaminen, ohjelmointi, plc, käyttöliittymä

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering  
Intelligent machines

**TUOMISOJA, TERO:**

PLC Program and Human Machine Interface for a Turning and Hardening Machine for Copper Discs

Bachelor's thesis 19 pages, appendices 1 pages  
September 2017

---

The purpose of this thesis was to make a PLC program and a human machine interface for an automated machine for turning and hardening copper discs used for welding. The Machine in question was designed and manufactured by Metecno LLC according to their client's specific needs. The main focus was on ease of use.

As a result, a machine was produced that is easy and fast to familiarize with. Usage of the machine was made to be straightforward and all the instructions are built into the interface.

---

Key words: turning, hardening, programming, plc, hmi

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	METECNO OY .....	7
3	SUUNNITTELU .....	8
3.1	Lähtötilanne .....	8
3.1.1	PLC-ohjelmointi.....	9
3.1.2	Käyttöliittymä .....	11
4	TOTEUTUS .....	12
4.1	Toimilaitteet.....	12
4.1.1	Taajuusmuuntajan ohjaus.....	12
4.1.2	Servojen ohjaus .....	13
4.1.3	Turvallisuus.....	14
4.2	HMI ja mitä sillä ohjataan .....	14
4.2.1	Peruskäyttäjän näkymä.....	14
4.2.2	Parametrit ja hälytykset.....	15
5	POHDINTA.....	16
5.1	Testaus ja muutokset.....	16
5.2	Lopullinen tuote .....	17
	LÄHTEET.....	18
	LIITTEET .....	19
	Liite 1. Mekaaninen suunnitelma .....	19

**LYHENTEET JA TERMIT**

PLC	Programmable logic controller
HMI	Human machine interface
Sekvenssi	Sarja toimintoja ja ehtoja
Toimilohko	Toimenpidekokonaisuus

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä PLC-ohjelma ja käyttöliittymä Metecno Oy:n asiakkaan tilaamaan sorvaus- ja lujituslaitteeseen (Liite 1). Kyseessä on kuparisten hitsauskierkköjen sorvausta ja pinnan lujitusta varten Metecno Oy:n suunnittelema ja valmistama laite.

Opinnäytetyö sisältää PLC:n ohjelmoinnin ja sen ohjaamien laitteiden konfiguroimisen. Lisäksi opinnäytetyöhön kuuluu laitteen käyttöliittymän tekeminen ja PLC-ohjelman ohjaaminen käyttöliittymän kautta.

Tavoitteisiin pyrittiin keskustelemalla aktiivisesti asiakkaan kanssa laitteelta toivotuista ominaisuuksista. Lisäksi tutustuttiin asiakkaan aiempaan menetelmään ja sen käyttökokemuksiin.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi valmis ja toimiva laite, joka pystyy suorittamaan kupari-kierkköjen sorvauksen ja lujittamisen yhden napin painalluksella. Käyttöliittymä sisältää käyttäjälle oleelliset käyttöohjeet ja PLC-ohjelma on kommentoitu mahdollisia selkeästi jotta ohjelmaa on helppo lukea ja ymmärtää, sekä muokata tarvittaessa.

## 2 METECNO OY

Metecno oy on vuonna 2008 perustettu teollisuusautomaation ja mekatroniikan ratkaisuja tarjoava yritys jonka toimipaikka sijaitsee Hämeenkyrössä (Metecno 2017). Yritys toteuttaa muun muassa erikoislaitteiden ja linjastojen suunnittelua, tuotekehitystä ja valmistusta teollisuuteen ja yrityksille. Tämän lisäksi yritys suunnittelee ja toteuttaa teollisuusautomaation ja –robotiikan sekä koneiden ja linjastojen modernisointeja.

Yritykselle on myönnetty Bisnoden korkein AAA luottoluokitus, Suomen Asiakastiedon myöntämä Suomen Vahvimmat –sertifikaatti ja on Suomen Tilaaavastuun Luotettava Kumppani -jäsen. Vuonna 2016 yrityksen liikevaihto oli 469 tuhatta euroa (Asiakastieto 2017). Keväällä 2017 Metecno Oy työllisti viisi työntekijää.

### 3 SUUNNITTELU

#### 3.1 Lähtötilanne

Työssä toteutettava PLC-ohjelma ja käyttöliittymä tehdään Metecno Oy:n valmistamaan hitsauskiekon sorvaus- ja lujituslaitteeseen (kuva 1). Asiakkaan toiveena on, että laitteen käyttö on mahdollisimman yksinkertaista. Silti laitteessa tulee olla mahdollisuus muokata työstämisen kannalta oleellisia työstöarvoja. Laitetta on voitava käyttää lyhyellä perehdytyksellä, mutta asiantunteva työntekijä voi muokata salasanasuojatulla asetussivulla työstöarvoja.



KUVA 1. Sorvaus- ja lujituslaite



Asiakkaan kanssa käydyissä keskusteluissa kerättiin tärkeimpiä laitteen käyttöliittymän ominaisuuksia:

- ”Yhdestä napista käyntiin”.
- Muokattavissa olevat työstöarvot:
  - Sorvausnopeus.
  - Sorvaussyvyys.
  - Lastun paksuus.
  - Lujitusnopeus.
  - Lujitusvoima.
- Nollattava kappalelaskuri.
- Mahdollisuus ajaa pelkästään sorvaus tai lujitus.

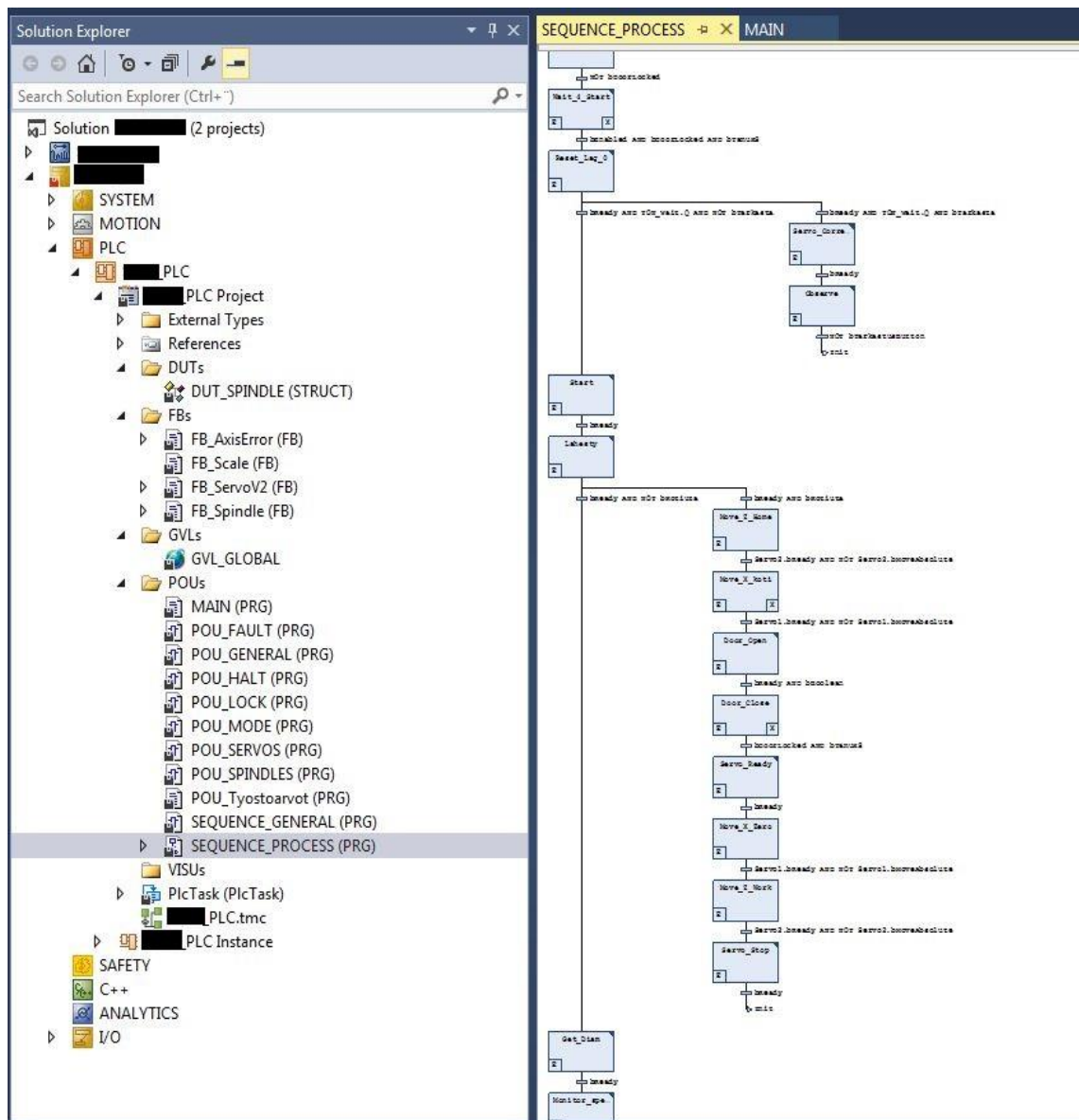
Lisäksi laitteen käyttöliittymään päätettiin lisätä lujituskierrosten lukumäärän ja kiekon sallittavan minimihalkaisijan muokkaus.

Käyttöliittymän ja PLC-ohjelman suunnittelussa käytetään hyödyksi materiaalia yrityksen vanhoista projekteista.

### **3.1.1 PLC-ohjelmointi**

Laitteen logiikan ohjelmointi toteutettiin Beckhoff:n TwinCAT 3:lla. TwinCAT 3 on PC pohjainen automaatiojärjestelmä, joka toimii Windowsin rinnalla. Kaikissa TwinCAT 3 logiikoissa on Windows käyttöjärjestelmä pohjainen PC.

Ohjelmoinnissa käytettiin jossain määrin hyväksi yrityksen tietotaitoa ja projektipohjia sekä Beckhoff internet sivuilta löytyvää kattavaa tietokantaa (Beckhoff Infosys 2017). TwinCAT ohjelmointiympäristö tukee useita eri ohjelmointikieliä. Työstösekvenssi toteutettiin selkeän visualisoinnin ja muokattavuuden takia sekvenssikaaviona (kuva 2) joka sisältää sarjan toimintoja. Toiminnoista toiseen siirrytään rajaehtojen täytyttyä.



*Kuva 2. Työstösekvenssi*

Useasti suoritettavat aritmeettiset laskennat toteutettiin rakenteisella tekstillä (structured text), joka sopii erityisen hyvin datan käsittelyyn ja silmukkarakenteiden ohjelmointiin.

Useimpien toimilaitteiden ohjaus on toteutettavissa olemassa olevilla toimilohkoilla, joihin kytketään ohjaavat muuttujat sekä referenssi toimilaitteeseen. Ohjauksen toteutukseen valittiin toimilohkokaavio, jossa on helppo linkittää muuttujia toimilohkojen syötteihin ja lähtöihin.

### **3.1.2 Käyttöliittymä**

Käyttöliittymänä toimii InduSoft Web Studio. Indusoft on Windows ohjelma, joka kommunikoi TwinCAT 3 runtime:n kanssa Windowsin kautta. Indusoft tarjoaa laajat mahdollisuudet rakentaa haluttu käyttöliittymä ja muokata sitä helposti myös etänä. Uusiin Beckhoff laitteisiin voidaan tilata tehtaalla asennetut Indusoft lisenssit, mikä helpottaa käyttöönottoa.

Yritys haluaa yhtenäisen ulkoasun laitteiden käyttöliittymille, joten käytettiin yrityksen projektipohjaa. Tästä muokattiin modernin näköinen ja yksinkertainen käyttöliittymä.

## 4 TOTEUTUS

### 4.1 Toimilaitteet

PLC ohjaa taajuusmuuntajaa, servo-ohjainta ja oven turvalukkoa. Taajuusmuuntaja käyttää oikosulkumoottoria joka pyörittää hitsauskiekkoa. PLC-ohjelma laskee pyydetystä leikkuunopeudesta ja kiekon halkaisijasta moottorille kierrosnopeuden. Moottorin ohjaus ei sisällä takaisinkytkentää, mutta taajuusmuuntaja on parametroitu ottamaan huomioon moottorin teoreettisen jättämän ja kompensoimaan se.

Servo-ohjain ohjaa kahta servoa, joilla ohjataan X- ja Z-akseleita. Z-akselin servo liikuttaa teräpalaa ja sorvausrullaa lähemmäs ja kauemmas hitsauskiekosta ja X-akseli liikuttaa teräpalaa hitsauskiekon pinnan suuntaisesti. Servo-akselit ovat takaisinkytkettyjä ja niiden sijaintia voidaan säätää jopa 0,005 mm tarkkuudella. Z-akselin servolle käytössä on myös momenttiohjaus, jonka avulla servon vääntömomenttia voidaan valvoa ja ohjata.

Turvalukon ohjaus toteutetaan yhdessä turvalogiikan kanssa.

#### 4.1.1 Taajuusmuuntajan ohjaus

Taajuusmuuntajaa ohjataan antamalla sille pyörityskäsky ja analoginen nopeustieto. Normaalissa käytössä taajuusmuuntaja ohjaa moottorin kiihdyttämistä ja pyörimisnopeutta sekä ohjaa moottorin energian jarrutusvastukselle jarrutettaessa.

Jos taajuusmuuntajan turvatulot kytketään pois päältä kesken normaalin ajon, ei jarrutusta suoriteta vaan moottori jää pyörimään oman inertiansa ylläpitämänä. Tästä syystä turvalogiikka on ohjelmoitu antamaan PLC:lle käsky jarruttaa toimilaitteet ennen kuin turvalogiikan turvalähdöt kytketään pois päältä. Tämä ohjelmoitu ajanjakso määräytyi täydestä vauhdista jarrutettavan, täydellä kuormalla pyörivän, moottorin jarrutusrampista. Ajan katsottiin olevan tarpeeksi lyhyt, jottei ihminen ehdi avata ovea ja aiheuttamaan vaaratilannetta.

#### 4.1.2 Servojen ohjaus

Servoja ohjataan suoraan PLC:llä. PLC-projektiin luodaan servoakseleita, jotka linkitetään suoraan servo-ohjaimeen. Tällöin PLC-ohjelman sisällä on helppo syöttää käskyjä suoraan servoakseleille ja lukea niiden tilatietoja Beckhoffin tarjoamilla valmiilla toimilohkoilla.

Akseleita voidaan myös liittää yhteen (Beckhoff 2017), jolloin toinen servoakseli voidaan liittää toisen orjaksi. Orja-akselia voidaan käskä esimerkiksi liikkumaan yhden millin ohjaavan akselin liikkua puoli millia. Tällöin voidaan suorittaa tarkkoja viistoliikkeitä haluttuihin suuntiin.

Servojen ohjaamisessa käytettiin myös hyödyksi servojen momenttia. Tunnistettaessa kiekon halkaisija ajetaan servoakselin lujitusrullaa kohti kiekon pintaa pienellä maksimimomentilla. Kun PLC tunnistaa, että servon nopeus tippuu nolleen, voidaan päätellä servon ajaneen rulla vasten kiekon pintaa. Tällöin servoakselin sijaintitieto kirjataan muistiin ja sitä käytetään kiekon halkaisijan laskennassa.

Toinen tapaus momenttiohjauksesta on lujitusrullan painaminen kiekon pintaa vasten pienellä momentilla. Servoakselia käsketään ajamaan rulla reilusti kiekon pinnan sisälle. Kun akselin nopeus tunnistetaan tippuneen nolleen, alkaa PLC-ohjelma nostamaan servon momenttia arvoon, jolla saavutetaan määrätty lujitusvoima. Kiekkoa lujitetaan tietty kierrosmäärä, jonka jälkeen akselin momentti lasketaan jälleen pieneksi ja lopulta rulla ajetaan takaisin alkuasentoon.

Servon momenttiohjaus on erittäin tarkka ja sen avulla voidaan lujitusrullalla tehdä pintakosketuksia kiekkoon ilman että tästä aiheutuu lujittavia voimia pehmeään kupariin. Käyttämällä momentin nostamisessa pientä ramppia estetään äkilliset piikkivoimat jotka voivat aiheuttaa vikatiloja ja värinää laitteen rungossa.

### **4.1.3 Turvallisuus**

Turvalogiikka on erillinen ohjelmoitava logiikka joka täyttää turvalogiikoilta vaadittavat ominaisuudet. Turvalogiikan tarkoitus on varmistaa koneen turvallinen käyttö ja sammuttaa toimilaitteet vaaditulla tavalla turvarajojen avautuessa.

Sorvin turvalogiikka ohjaa servo-ohjaimen, taajuusmuuntajan ja turvalukon toimintaa PLC:n ohjaamana. PLC:n antaessa käynnistyskäskyn turvalogiikan avulla tarkistetaan turvarajat, lukitaan turvalukko ja sitten aloitetaan työstäminen. Hätäseisnapin painallus tai turvarajojen aukaisu antaa PLC-ohjelmalle hetken aikaa suorittaa toimilaitteille turvallinen pysäytys jonka jälkeen toimilaitteiden turvalähdöt otetaan pois päältä. Ajastus on toteutettu, jotta laitteet kerkeävät suorittaa jarrutustoiminnot, muttei kättä ehdi laittaa laitteen sisälle.

## **4.2 HMI ja mitä sillä ohjataan**

Indusoft HMI toimii laitteen ja käyttäjän välisenä viestinviejänä. Indusoftin kautta käyttäjä näkee laitteen toimintakaavion, prosessin tilan, käytettävät työstöarvo ja pystyy muokkaamaan näitä arvoja tarpeiden mukaan.

Käyttöliittymästä löytyy infonappi jota painaessa saa näkyviin kullekin sivulle ohjetekstit jotka opastavat käyttäjää koneen käytössä. Erillisiä käyttöohjeita koneesta ei ole, sillä kaikki tarvittava tieto löytyy käyttöliittymästä.

### **4.2.1 Peruskäyttäjän näkymä**

Indusoft käyttöliittymästä löytyy kotisivu (kuva 3), jonne on sijoitettu helpon käytön kannalta oleelliset tiedot, kuten koneen tila ja työstökerrat. Tarkemmat asetukset ovat sijoitettu erilliselle asetussivulle

The screenshot displays the Metecno user interface. On the left is a sidebar with the Metecno logo and four icons: a house, a gear, a red light, and a question mark. The main area features a table with parameters: LASKURI (3), SORVAUS (mm) (0.10), and LUJITUS (N) (10000). To the right are two circular indicators for SORVAUS + LUJITUS and TARKISTUS PYÖRITYS. Below these is a large green box labeled VALMIS and a TARKASTELU button. At the bottom are three buttons: MITTAUS, SORVAUS, and LUJITUS. The footer contains the date 23/5/2017 08:27:12, the company name Metecno Oy, the email info@metecno.fi, and the address Kiepantie 180, 37200 SIURO.

<b>LASKURI</b>	<b>3</b>
<b>SORVAUS (mm)</b>	<b>0.10</b>
<b>LUJITUS (N)</b>	<b>10000</b>

**SORVAUS + LUJITUS**

**TARKISTUS PYÖRITYS**

**VALMIS**

**TARKASTELU**

**MITTAUS SORVAUS LUJITUS**

23/5/2017 08:27:12

Metecno Oy info@metecno.fi Kiepantie 180, 37200 SIURO

Kuva 3. Käyttöliittymän kotisivu

#### 4.2.2 Parametrit ja hälytykset

Tarkemmat asetukset ovat sijoitettu erilliselle asetussivulle, jonka tietojen muokkaaminen vaatii käyttäjätunnuksen. Asetussivulta voi kirjautunut käyttäjä myös käskyttää konetta ajamaan vain tiettyjä sekvenssin osia, jotta työstöarvojen kalibrointi onnistuu helpommin.

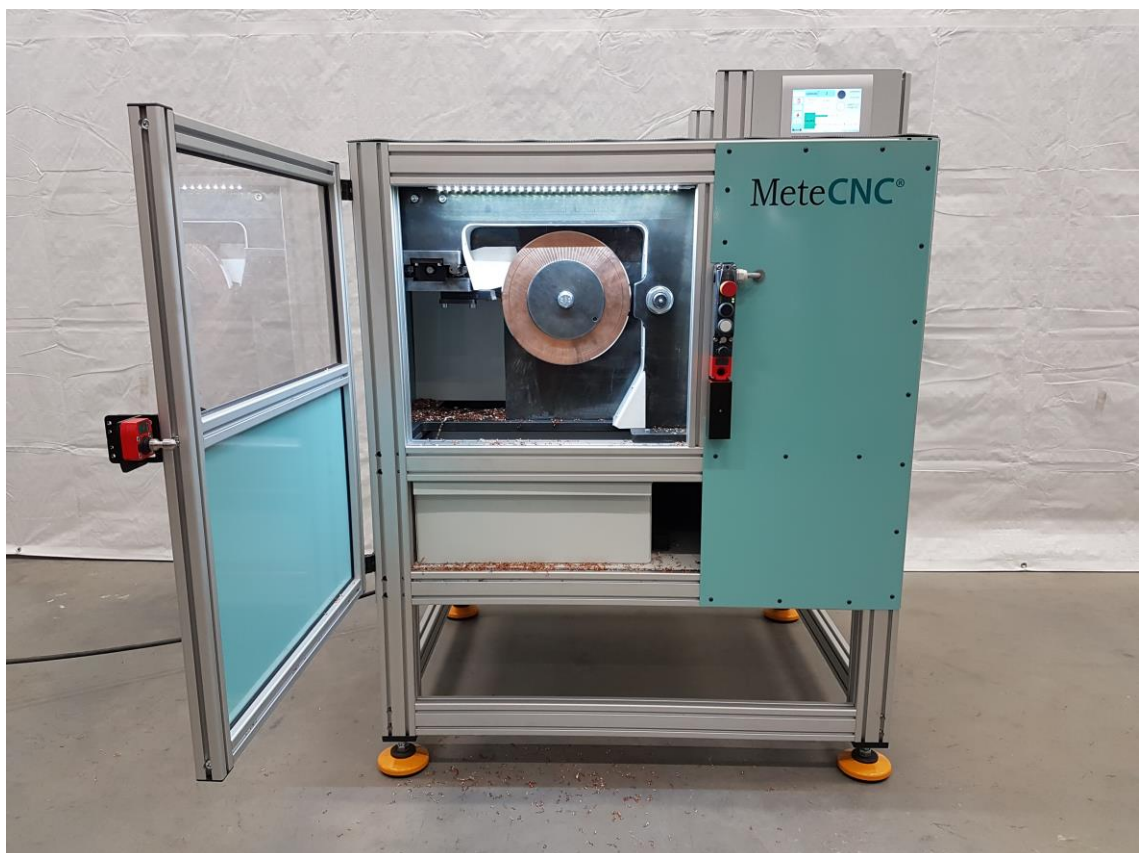
Kolmannella sivulla käyttäjä näkee koneen ilmoittamat hälytykset ja voi kuitata niitä tarvittaessa. Tämä helpottaa koneen vianetsintää ja auttaa arvioimaan tarvittavia toimenpiteitä, jos koneen käytössä ilmenee ongelmia.

## 5 POHDINTA

### 5.1 Testaus ja muutokset

Koneen ensimmäisissä testeissä tuli määrittää servoakselien rajat. Valitut servot sisältävät absoluuttianturit jotka säilyttävät paikkatietonsa koneen ollessa pois päältä. Servoakselille suoritettujen kalibrointien jälkeen ei niitä pysty ohjelmallisesti ajamaan yli ohjelmassa määritetyistä rajoista.

Servojen kalibroinnin jälkeen testattiin laitteen käyttöä manuaalisesti (kuva 4). Hitsauskiekon pyöritys ja sorvauskärjen ajaminen kiekon pinnalla onnistui käsin servoakselien paikkakäskeyä muuttamalla. Tämän perusteella aloitettiin työstösekvenssin teko. Sillä kone on ainutlaatuinen ja vastaavanlaista työstöä ei ollut aikaisemmin suunniteltu, sisälsi tämä vaihe paljon kokeilua ja erilaisten työstötapojen testaamista.



Kuva 4. Laitte testauksessa



Lopulta saatiin luotua toimintavarma työstösekvenssi, jonka työstöarvoja pystytään muuttamaan käyttöliittymästä. Työstösekvenssiä ja koneen turvallisuutta testattiin muun muassa yrittämällä käyttää konetta sen toimintaperiaatteen vastaisesti, asettamalla mahdollisia työstöarvoja ja ”rämpyttämällä” ohjauspainikkeita. Testauksen aikana palautetta kerättiin myös asiakkaalta, parannusehdotuksia tuli lähinnä käyttöliittymästä.

## **5.2 Lopullinen tuote**

Laitteen käyttöliittymä on yksiselitteinen ja selkeä käyttää. Joitakin kompromisseja tehtiin selkeyden suhteen asiakkaan toivoessa lisätietoa prosessista asetussivulle. Tämä vaikutti fontin kokoon, mutta kaikki teksti on silti edelleen selvästi luettavissa 7 tuuman näytöltä.

Turvalogiikan kanssa jouduttiin myös tekemään kompromisseja, sillä turvalukoksi valittiin malli jonka turvalähtöjen valvonta poikkesi suunnitelmista. Tämä saatiin kuitenkin toteutettua ohjaamalla lukkoa turvalogiikan kautta ja lisäämällä PLC-ohjelmaan lukon tilan valvonta osaksi työstösekvenssiä.

Kokonaisuudessaan laitteeseen saatiin aikaan toimintavarma, parametroitavissa oleva ja selkeästi kommentoitu PLC-ohjelma jota voidaan jatkossa helposti muokata tarpeen mukaan. Lisäksi ohjelmasta käytettävää servon momenttiohjausta voidaan käyttää pohjana tulevilla projekteilla, joissa vaaditaan servojen varovaista, momenttirajattua käytöstä.

## LÄHTEET

Metecno. Metecno oy etusivu. Luettu 28.6.2017. <https://www.metecno.fi/>

Metecno. Hitsauskiekkosorvin esittelyvideo. Katsottu 28.6.2017. <https://www.youtube.com/watch?v=QWXqCLlrTfE>

Asiakastieto. Metecno oy taloustiedot. Luettu 28.6.2017. <https://www.asiakastieto.fi/yri-tykset/FI/metecno-oy/21810811/taloustiedot>

Beckhoff Infosys. Beckhoff Information System. Luettu 28.6.2017. <https://infosys.beckhoff.com/>

Beckhoff. Linear slave axis. Luettu 28.6.2017. <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcncptp/html/tcnclaveslinear.htm>

## LIITTEET

### Liite 1. Mekaaninen suunnitelma

#### Automaattinen kuparikiekon sorvaus/ lujitus laite

##### Toimintakuvaus

Laite on ympäriinsä suojattu ja siinä on luukku kiekon asennusta varten. Operaattori asettaa kuluneen kiekon sitä varten suunniteltuun adapteriin ja kiristää sen siihen ruuvilla. Tämän jälkeen operaattori sulkee luukun ja käynnistää koneen yhdellä napilla.

Kone tekee sorvauksen ja lujituksen täysin automaattisesti. Ensiksi se mittaa kiekon nykyisen halkaisijan. Sen jälkeen sovinterä sorvaa halkaisijasta halutun määrän pois ja tekee viisteet. Asetuksissa voidaan kertoa, paljonko sorvataan. Tämän jälkeen pinta lujitetaan painorullalla. Myös painatusvoima voidaan asettaa asetuksista. Kun työ on tehty, ilmoitetaan siitä merkkivalolla. Operaattori avaa luukun ja poistaa kiekon.

##### Pääominaisuudet

- Kompakti rakenne, jossa trukilla siirto mahdollisuus
- Täysin automaattinen työsekvenssi
- Säädettyvä kiekon pyöritysnopeus
- 2-akselinen servokäyttöinen sorvaus. Tarkkuus noin 0,01mm
- maksimi valssausvoima 25kN  $\Rightarrow 25018kg$

##### Sähkö- ja ohjausjärjestelmä

- ohjaus toteutetaan Saksalaisella Beckhoff TwinCAT –järjestelmällä ([www.beckhoff.fi](http://www.beckhoff.fi))
- Järjestelmän käyttö graafisella käyttöliittymällä
- Ohjaava laite Beckhoff paneli-PC 7" näytöllä
- Käyttöliittymä
  - käyttöliittymässä ns. "HOME" sivu, jossa tärkeimmät koneen käyttöön liittyvät napit ja parametrit
  - käyttöliittymässä oma sivu hälytyksille
  - käyttöliittymässä oma sivu asetuksille
  - käyttöliittymässä kappalelaskurit

##### Koneturvallisuus

- EN ISO 13849 Turvakategorian 3 mukaan
- luukku lukittuu ala-asentoon käytön ajaksi ja vapautuu vasta moottorin pysähtyttyä
- Hätä-Seis tatti käyttäjän lähellä
- oven ollessa auki tai hätä-seis tatin ollessa pohjassa ei moottorit käynnisty